

10.5. МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АУТСОРСИНГА

Макаров Ю.Н., к.т.н., начальник Сводного управления организации космической деятельности Федерального космического агентства

Предложена научно-обоснованная модель производства, обеспечивающая оптимальное развитие корпорации за счет использования аутсорсинга. Для оценки влияния аутсорсинга на функционирование производственных предприятий предложено использовать принципы имитационного моделирования, основанного на аппарате нечеткой логики.

1. МОДЕЛЬ ВЫБОРА АУТСОРСИНГОВЫХ УСЛУГ ПРИ ВНЕДРЕНИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Начнем с того, что попытаемся определиться с тем, что мы будем понимать под словом «аутсорсинг». Одно из существующих определений следующее: аутсорсинг – это передача на внешнее управление некоторых, обычно второстепенных, функций компании: тех, которые не

являются бизнес-образующими. Впрочем, здесь далеко не все ясно. Как можно определить внутренний процесс, который является бизнес-образующим?

Бизнес-образующими процессами могут быть несколько бизнес-процессов, переплетенных между собой, выделить конкретные задачи, которые должен выполнять аутсорсер – неоднозначная задача. На аутсорсинг в настоящее время отдают и бухгалтерский учет, и юридическую службу, и НИОКР.

Аутсорсинг позволяет предприятию решить вопросы организации контроля и передачи самих функций на исполнение аутсорсеру, так как потенциально имеет ключевое преимущество: на аутсорсера можно возложить ответственность за результат. Об услугах аутсорсинга на предприятии задумываются, когда возникает проблема включения в бизнес-процесс действий, не связанных напрямую с его профильной специализацией. Привлечение более квалифицированных специалистов, оборудования и иных ресурсов, обеспечивающих выполнение определенных работ на более высоком уровне, чем собственный, и составляет содержание аутсорсинга. Широкое распространение получило привлечение внешних ресурсов для оказания услуг в сфере информационных технологий вместо собственных служб информатизации (ИТ-аутсорсинг) (табл. 1).

Таблица 1

СРАВНЕНИЕ АУТСОРСИНГА И СОБСТВЕННЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ

Применение аутсорсинга	Собственные ресурсы
Положительные стороны аутсорсинга	
Сроки выполнения работ более сжатые. Эффект от использования информационных технологий начинает выявляться сразу	Для выполнения работ требуется продолжительный подготовительный период на приобретение программного и технического обеспечения, для его освоения и настройки
Сокращение штата непрофильных специалистов	Поиск квалифицированных специалистов в области информационных технологий и их содержание. После выполнения пуско-наладочных работ интенсивность использования этих специалистов снижается
Сосредоточение усилий на организации основных бизнес-процессов, приносящих предприятию основную прибыль	Необходимость планирования и контроля выполнения работ, несвойственных профилю топ-менеджеров предприятия и отвлечение их от основных обязанностей
Решение кадровых проблем, связанных с информатизацией предприятия, является заботой аутсорсера. Его специалисты, как правило имеют более высокую квалификацию. Увеличение объемов работы и обеспечение этих объемов рабочей силой также является заботой поставщика услуг	Кадры надо найти и адаптировать к условиям предприятия
Ощутимость результатов материальных затрат. Заплатив деньги заказчик сразу приобретает набор информационных технологий	Финансовые средства затрачиваются на приобретение программного и технического обеспечения, на прием специалистов по информационным технологиям
Четкость взаимоотношений с поставщиком через заключение договоров	В собственных службах находятся «объективные» причины невыполнения работ в запланированные сроки и отклонения функциональной направленности систем от ожидаемого уровня
Сокращение расходов на документооборот	На предприятии следует подготовить технические предложения, провести эскизное проектирование в полном объеме
Высвобождение средств для инвестиций в профильную деятельность	На подготовительной стадии собственных работ материальные затраты превышают затраты на аутсорсинг. Требуемые средства изымаются из основных бизнес-процессов
Отрицательные стороны аутсорсинга	
Возможность неполной настройки информационной системы на заказчика из-за стремления поставщика использовать типовые решения	Собственная служба информатизации лучше знает особенности производства на предприятии. Возникающие в ходе выполнения недочеты в системе исправляются. Учитываются пожелания основных подразделений, не ограниченные договорными рамками
Необходимость использования услуг поставщика для сопровождения информационного проекта в процессе эксплуатации. Возможное завышение цен на это сопровождение, связанное с «монопольным» владением этой услуги	Поддержание информационной системы в рабочем состоянии является обыденной работой собственной службы информатизации. Собственные расходы ниже сторонних
Возможность утечки информации через поставщика	Собственная служба безопасности может лучше контролировать каналы утечки информации
Наличие риска переплаты за полный комплекс услуг, оговоренный договором на конкретный период времени	Приобретении информационных ресурсов самостоятельно оплата проводится по текущим рыночным ценам

Для принятия решения о привлечении аутсорсера для оказания услуг необходимо сравнить стоимость своего подразделения и внешнего поставщика. Так как системы и вся ИТ инфраструктура сильно отличается от предприятия к предприятию, то единые принципы сравнения еще слабо развиты. Стремление предприятия развивать информационное обеспечение связано с возрастающим усложнением бизнес-процессов и с желанием получить максимальное качество выполнения бизнес-функций, при сокращении собственных издержек.

Для построения модели сравнения эффективности использования аутсорсинга следует отметить основные положительные и отрицательные его стороны [1, 18, 21, 23].

Для построения модели влияния информационных технологий на производственный процесс воспользуемся принципами имитационного моделирования, основанного на аппарате нечеткой логики [2, 4, 13]. Считаем, что производственный процесс как система определяется основными производственными элементами. Между этими элементами действуют производственные связи. Тогда производственный процесс представляется в виде нечеткой системы логического вывода:

$$S = (P, V), \tag{1}$$

где

$$P = \{p_i, i = \overline{1, p}\}, \forall \{v(p_i, p_j), i, j \overline{1, p}, i \neq j\} - \text{множество элементов системы и связи между ними.}$$

При описании элементов используется множество нечетких ситуаций, характеризующих пространство возможных состояний элементов, а также множество отношений между ними. Каждому элементу системы p_i соответствует лингвистическая переменная (τ_i, B_i) , определенная на терм-множестве $\{\tau_{i, M_i}\}$, и базовое множество B_i элемента. Терм-множество представляет собой набор лингвистических значений элемента, характеризующих его типовые состояния, где M_i – число типовых состояний данного элемента. Для описания термов $\tau_{i, k}, k = \overline{1, M_i}$, соответствующих значениям элемента p_i , используются нечеткие функции принадлежности из множества $M_i = \{\mu_i(b), b \in B_i\}$.

Связи $v(p_i, p_j)$ между типовыми состояниями каждой пары элементов задаются одним из значений терм-множества лингвистической переменной:

$$\left(v(p_i, p_j), \tau_{v(p_i, p_j)}, B_{v(p_i, p_j)} \right),$$

где $\tau_{v(p_i, p_j)}$ – терм-множество лингвистической переменной $v(p_i, p_j)$. Связи между типовыми состояниями каждой пары элементов задаются нечеткими переменными [10, 11, 14].

Отношения причинности между каждой парой элементов (p_i, p_j) из множества связей $V = \{v(p_i, p_j)\}$ формируются в виде ориентированного графа. Связь между типовыми состояниями каждой пары элементов задаются одним из значений терм-множества лингвистической переменной.

Связи, характеризующие нечеткую степень влияния между типовыми состояниями каждой пары элементов, описываются нечеткими переменными, которые могут задаваться функциями принадлежности [5]. Задание взаимосвязей между элементами с помощью функций принадлежности позволяет формировать производственные модели в виде множества нечетких правил. Функции принадлежности для всех переменных на каждом терме $[\tau_k^L, \tau_k^R]$ задаются в виде:

$$\mu_k(x) = \begin{cases} \mu_k^L(x) = \exp\left(-\left(\frac{x - c_k}{\sigma_k^L}\right)^2\right), & x < c_k \\ \mu_k^R(x) = \exp\left(-\left(\frac{x - c_k}{\sigma_k^R}\right)^2\right), & x \geq c_k \end{cases}. \tag{2}$$

Центр терма определяется выражением $c_k = \frac{\tau_k^L + \tau_k^R}{2}$,

а коэффициенты σ_k^L, σ_k^R находятся из условия

$$\mu(\tau_{k-1}^R) = \mu(\tau_k^L) = 0.5 :$$

$$\sigma_k^L = \sqrt{\frac{c_k - \tau_k^L}{\ln 2}}, \quad \sigma_k^R = \sqrt{\frac{\tau_k^R - c_k}{\ln 2}}, \quad \tau_k^L = \tau_{k-1}^R.$$

Следовательно, множество термов и множество функций принадлежности входных и выходных переменных полностью определяются границами термов $[\tau_k^L, \tau_k^R]$.

Эксперт генерирует правила: $R_j, j = \overline{1, N}$, в которых настраиваемыми параметрами являются функции принадлежности посылок и следствий. Правила с совпадающими следствиями соединяются в одно на основе оператора логической суммы. Нечеткое логическое правило можно представить как: $A \Rightarrow B$. Условие A в общем случае представлено в виде

$$\text{if } (x_i \in A) \text{ AND } \dots (x_j \in A_j) \text{ AND } \dots \dots (x_m \in A_m) \text{ then } (y \in B_i). \tag{3}$$

Для определения результирующего уровня активации применяется оператор логического умножения для отдельных составляющих условия в правиле:

$$\mu^j_A(x) = \min(\mu_A(x_i)).$$

Агрегированная по всем правилам функция принадлежности определяется логическим суммированием:

$$\mu_B(y) = \max_{j=1, N} (\mu_A^j(x) \mu_B^j(y)).$$

Точечная оценка результата определяется относительно центра области:

$$y_c = \frac{\int \mu_B(y) y dy}{\int \mu_B(y) dy}.$$

Обозначим $X = (x_k), k = \overline{1, K}$ входные воздействия, а $Y = (y_l), l = \overline{1, L}$ – выходная переменная, то зависимость между входом и выходом можно определить как:

$$Y = F(X, U, W),$$

где

W – параметры системы,

U – управляющие воздействия. Если существуют обратные связи, то

$$Y(t) = F(X(t-1), Y(t-1), U(t-1), W), \quad (4)$$

где t – год.

По данной модели можно проводить имитационное моделирование.

Представим производственный процесс в виде упрощенной схемы, учитывающий основные связи.

Основные элементы системы:

- инвестиции в производство, объем которых соответствует входной переменной x ;
- технологический процесс – агрегирование по основным бизнес-процессам;
- рабочая сила или персонал основного производства;
- система документооборота на предприятии;
- поддержка принятия управленческих решений;
- система контроля качества продукции;
- информационная подсистема предприятия.

Элементы 2-7, обеспеченные финансовой поддержкой через инвестиции 1, определяют производительность труда (элемент 8) и качество продукции (9). Элемент (10) определяет объем рынка выпускаемой продукции. Выходной характеристикой производственной системы будем считать конечную (чистую) продукцию (11). Ей соответствует выходная переменная Y . Конечная продукция является источником собственных инвестиций. Структурная схема данной системы показана на рис. 1.

Информационная подсистема предприятия состоит из нескольких элементов:

- средства на разработку и содержание информационной системы (вход в подсистему);
- программное обеспечение;
- специалисты в области информатизации;
- сохранность конфиденциальной информации;
- адаптация информационной системы к особенностям производства;
- аппаратное обеспечение;
- уровень информатизации на предприятии (выходная характеристика подсистемы).

Связи 1-2, 1-3, 1-4, 1-5, 1-6, 1-7.1 определяют влияние выделяемых средств на уровень функционирования данного элемента. Связь характеризуется набором нечетких правил вида (3). Например, связь 1-6 состоит из двух правил:

- если вложения в систему качества низкие или средние, то уровень контроля качества – низкий;
- если вложения в систему качества высокие, то уровень контроля качества – высокий.

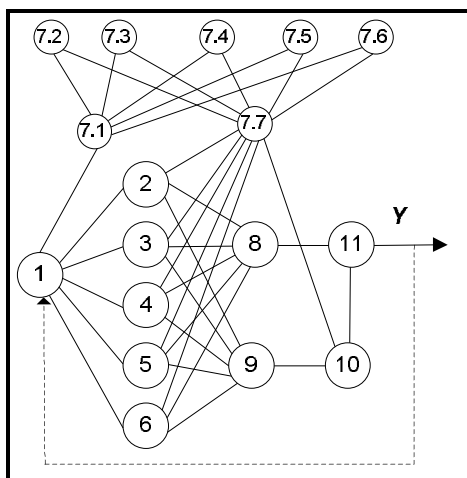


Рис. 1. Структура модели производства

Функции принадлежности, определяющие это правило, приведены на рис. 2. Другие связи задаются аналогичным способом.

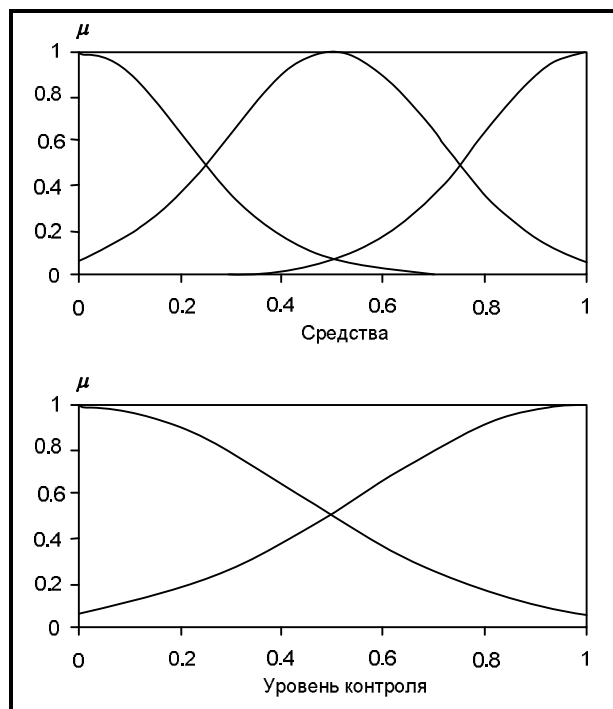


Рис. 2. Функции принадлежности для связи 1-6

Связи 7.1-7.2, 7.1-7.3, 7.1-7.4, 7.1-7.5, 7.1-7.6 задают зависимость характеристик информационной подсистемы от затраченных финансовых средств. Связи 7.2-7.6, 7.3-7.6, 7.4-7.6, 7.6-7.6 определяют уровень информатизации предприятия от программных, технических и кадровых ресурсов.

Связи 2-8, 3-8, 4-8, 5-8, 6-8, 2-9, 3-9, 4-9, 5-9, 6-9, устанавливают уровень производительности труда и качества продукции.

Связь 8-11 определяет зависимость объема чистой продукции от производительности труда. Качество продукции через объем рынка и цены на продукцию (связи 9-10 и 10-11) также задает уровень чистой продукции.

Информационная система через связи 7.7-2, 7.7-3, 7.7-4, 7.7-5, 7.7-6 задает влияние уровня информатизации на основные производственные элементы, включая и поддержку управленческих решений. Связь 7.7-10 определяет возможность проведения и анализа маркетинговых исследований, а также рассматривает отрицательное влияние конкурентов через утечку информации.

Часть полученной чистой продукции идет на собственные инвестиции, что реализуется обратной связью 11-1 (пунктир). На связи 1-2, 1-3, 1-4, 1-5, 1-6, 1-7.1, а также на 7.1-7.2, 7.1-7.3, 7.1-7.4, 7.1-7.5, 7.1-7.7 устанавливаются весовые коэффициенты, играющие роль управляющих воздействий. Таким образом, при выборе некоторого управления в виде перераспределения инвестиций по основным производственным элементам получаем динамическую модель развития производства в виде (4). Эту модель можно применять для выбора оптимальной траектории развития предприятия за счет нахождения соответствующих управляю-

щих воздействий. Здесь будем использовать данную модель для сравнительного анализа возможностей аутсорсинга и собственных разработок в области информационных технологий на основе табл. 1.

Будем рассматривать функционирование предприятия, описываемое моделью (4) на временном отрезке $t \in [0, T]$. Единица времени соответствует 1-му кварталу. Затраты z , выделяемые на информатизацию на каждом промежутке времени, показаны на рис. 3.

Первоначальный объем средств, выделяемый при собственных разработках выше на этапе подготовительных и пуско-наладочных работ. Затраты на содержание и сопровождение информационной системы ниже для собственных служб, чем для сторонних. Все затраты дисконтированы с коэффициентом 0,1 годовых.

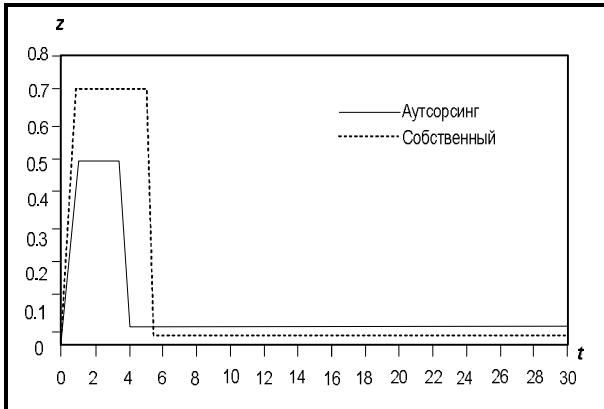


Рис. 3. Средства, выделяемые на развитие информационных технологий

Интегральные затраты $Z = \int_0^t z dt$ приведены на рис. 3.

Для учета влияния информатизации на уровень производимой продукции расчеты по модели (4) сначала проведены без информационной подсистемы 7. Эта зависимость $y_0(t)$ является базой для дальнейшего анализа (рис. 4). На рис. 5 представлена временная зависимость:

$$y(t) = Y(t) - y_0(t),$$

полученная для двух вариантов использования средств на амортизацию: аутсорсинг и собственный подход.

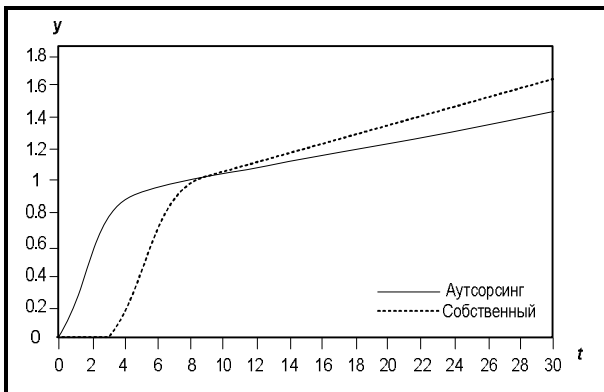


Рис. 4. Средства нарастающим итогом, выделяемые на развитие информационных технологий

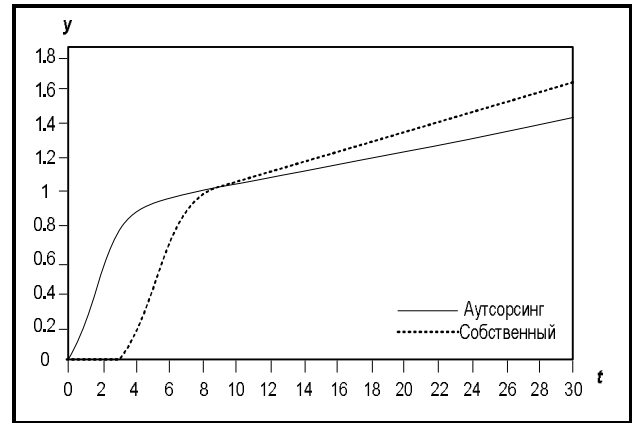


Рис. 5. Эффект от применения информационных технологий

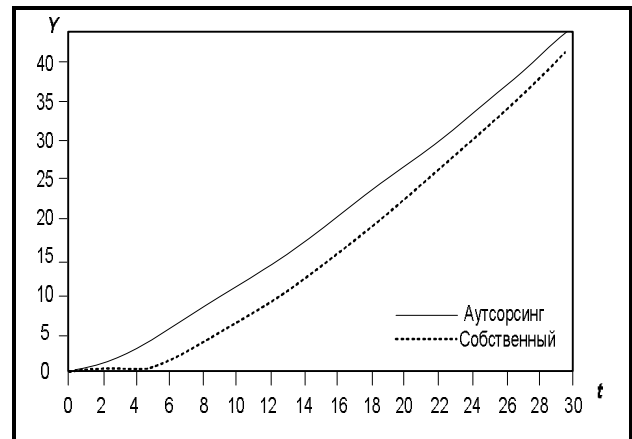


Рис. 6. Интегральный эффект от применения информационных технологий

В случае собственных разработок эффект на производстве начинает проявляться почти через год после начала работ. При аутсорсинге вложенные средства начинают давать прирост чистой продукции сразу. Накопление прироста продукции из-за применения информационных технологий приведено на рис. 6.

Суммарный (итоговый) эффект, рассчитываемый как разность между объемом чистой продукции и затраченными средствами, показан на рис. 7.

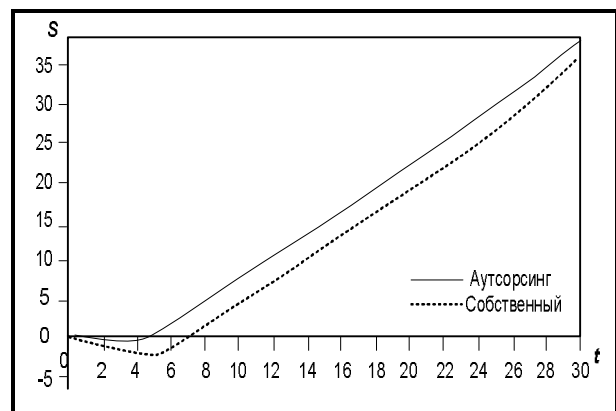


Рис. 7. Итоговый эффект от применения информационных технологий

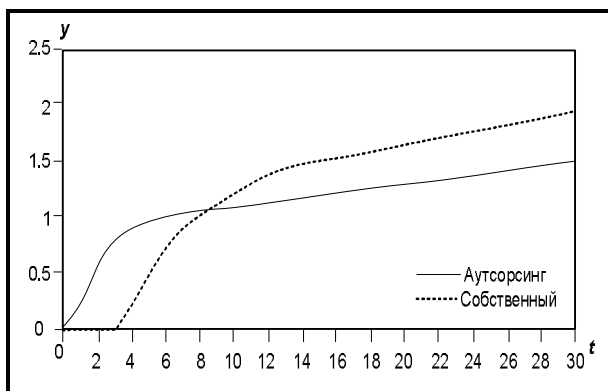


Рис. 8. Эффект от применения информационных технологий (вариант с адаптацией)

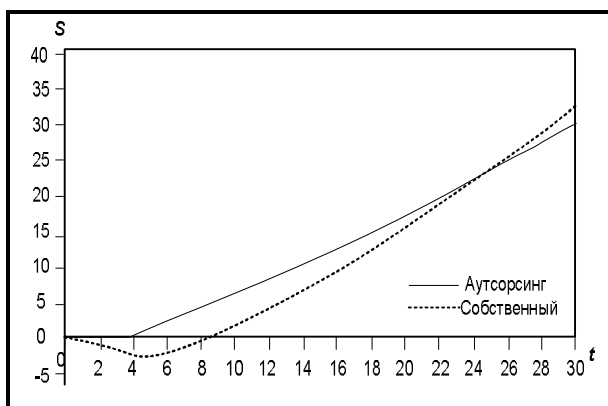


Рис. 9. Итоговый эффект от применения информационных технологий (вариант с адаптацией)

Из приведенных данных видно, что окупаемость проекта по информатизации в случае применения аутсорсинга начинает реализовываться через три квартала после начала работ. Срок окупаемости собственных разработок составляет более двух лет. При таких параметрах производства очевидно преимущество использования аутсорсинговых услуг по информатизации в течение рассматриваемого времени $T = 30$.

Теперь рассмотрим нереализованную в первом варианте информатизации возможность адаптации проекта к условиям предприятия. Для этого увеличим объем средств по связям 7.1-7.3 и 7.1-7.5. Это означает выделение дополнительного специалиста со знаниями и навыками как в информатике, так и в производстве. Его задача заключается в учете пожеланий производственников и менеджеров при доработке информационного обеспечения. Изменение управляющих воздействий подобным образом приводит к другому поведению эффекта от применения информационных технологий в случае собственных разработок с адаптацией (рис. 8).

Итоговый эффект от применения информационных технологий представлен на рис. 9.

Для варианта собственных разработок с дополнительной адаптацией информация для лица, принимающего решение, изменилась. Для долгосрочного периода планирования следует учитывать, что прибыль от собственных разработок в долгосрочном периоде (более шести лет) выше, чем от аутсорсинговых услуг. При собственных разработках также появляется

возможность выбора оптимального перераспределения средств по связям 7.1-7.2, 7.1-7.3, 7.1-7.4, 7.1-7.5, 7.1-7.6 с целью увеличения темпов прироста чистой продукции.

2. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ВЛИЯНИЯ АУТСОРСИНГОВЫХ УСЛУГ НА ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПРОЦЕСС ПУТЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ, ОСНОВАННОГО НА АППАРАТЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

При аутсорсинге осуществляется передача сторонней фирме некоторых бизнес-функций или частей бизнес-процесса предприятия. Под информационным аутсорсингом (ИТ) понимается привлечение внешних ресурсов для оказания ИТ услуг, вместо собственных ИТ служб [3, 16]. Специализированной компании передаются полностью или частично функции, связанные с ИТ. Аутсорсер настраивает инфраструктуру ИТ, проектирует архитектуру АИС, управляет хранилищами данных, обеспечивает управление АИС, приобретает оборудование.

Юридический аутсорсинг включает виды правового обслуживания, арбитраж, налоговое право, трудовое право. Может проводиться регистрация, ликвидация предприятия, абонентское обслуживание предпринимателей, юридических лиц.

Широкое распространение получил бухгалтерский аутсорсинг:

- абонентское обслуживание предпринимателей, юридических лиц;
- ведение бухгалтерской отчетности;
- консалтинг и постановка бухгалтерского учета;
- заполнение налоговых деклараций;
- восстановление бухгалтерской отчетности;
- ревизия экономической деятельности предприятий.

Кадровый аутсорсинг включает подбор, диагностики, тестирование персонала.

Компании аутсорсеры, как правило, оказывают широкий спектр услуг. Например, бухгалтерские, юридические, услуги по программному обеспечению, обучению и подбору персонала [12, 19, 20, 24]. Специалистам в разных отраслях знаний выгодно работать совместно и помогать друг другу в решении специфических задач. Установкой и обновлением бухгалтерских программ занимается специалист по программному обеспечению.

Наличие широкого спектра услуг предполагает планирование в использовании имеющихся у аутсорсера ресурсов. Под ресурсами понимаются:

- кадровый персонал;
- вычислительная и другая техника и системы;
- производственные площади;
- финансовые возможности.

Отношения между исполнителем (аутсорсером) и заказчиком достаточно мобильны [22]. Планы распределения ресурсов между проектами составляются часто. При этом в отношениях заказчика и исполнителя всегда присутствует неопределенность в той или иной мере. Заказчик может оказаться неплатежеспособным, а исполнитель – недостаточно квалифицированным. Поэтому в аутсорсинговой деятельности, как во всякой предпринимательской, присутствуют различные риски.

При плохой информированности лица, принимающего решение, спланированная с применением оптимизационных методов стратегия поведения может при-

вести к неоптимальным результатам. Для планирования в условиях неопределенности в последнее время широко используется нечеткое математическое программирование [7, 9].

Для распределения ресурсов обычно ставится задача математического программирования в виде:

$$F(x, C) \rightarrow \max, \tag{5}$$

$$f_i(x, R, A) \leq 0, i = \overline{1, m}.$$

Целевая функция задает величину планируемого дохода за счет выбора деятельности, определяемого вектором переменных x . Коэффициенты C определяют эффективность различных видов деятельности. Выбор деятельности осуществляется при существующих ограничениях на используемые ресурсы нескольких видов R . Коэффициенты, образующие вектор или матрицу параметров A , являются, как правило, нормативными и определяют затраты ресурсов при функционировании бизнес-системы.

В общем случае задача (5) представляет собой задачу нелинейного программирования. Для ее решения разработаны методы нелинейной и линейной (для линейного частного случая) оптимизации. Если коэффициенты математической модели (5) заданы с какой-то степенью неопределенности, то задача (5) переходит в класс задач нечеткого программирования. Наличие в оценке параметров модели (5) доли неопределенности приводит к задаче достижения нечетко определенной цели с учетом степени выполнения ограничений. Задачи подобного класса требуют для своего решения иных методов.

Рассмотрим типичную для планирования многих видов деятельности задачу планирования. Определен максимальный объем услуг, поставляемый заказчику. Фирма-аутсорсер имеет возможность принять участие в нескольких проектах. Каждый проект может принести фирме определенный доход. Принять участие во всех проектах препятствует наличие ограниченного количества ресурсов фирмы. Необходимо спланировать и согласовать с заказчиками объемы работ по каждому проекту, обеспечивающие максимальный доход аутсорсеру.

Рассмотрим линейную постановку задачи. В этом случае доход от единицы оказанных услуг не зависит от объема этих услуг. Коэффициенты, определяющие затраты ресурсов при оказании услуг, также не зависят от их объема. Обозначим:

$c_j, j = \overline{1, n}$ – величина дохода, получаемая от единицы услуги по проекту j ;

$a_{ij}, j = \overline{1, n}; i = \overline{1, m}$ – норма затрат i -го ресурса для оказания услуги по j -му проекту;

$R_i, i = \overline{1, m}$ – количество ресурса, имеющегося у аутсорсера;

$x_j, j = \overline{1, n}$ – объем услуг.

При заданных значениях:

$$c_j, a_{ij}, R_i, j = \overline{1, n}; i = \overline{1, m}$$

имеем обычную задачу линейного программирования:

$$F(x) = \sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \max,$$

$$f_i(x) = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \rightarrow \max - R_i \leq 0, i = \overline{1, m}, \tag{6}$$

$$0 \leq x_j \leq X_j^{max}, j = \overline{1, n}.$$

Решение задачи осуществляется стандартными методами и не вызывает затруднений. Если же коэффициенты $c_j, a_{ij}, R_i, j = \overline{1, n}; i = \overline{1, m}$ известны с некоторой степенью неопределенности, то получаем задачу нечеткого программирования. Будем считать, что значения этих коэффициентов находятся в пределах заданных интервалов:

$$c_j \in [c_j^0 - \Delta c_j, c_j^0 + \Delta c_j];$$

$$a_{ij} \in [a_{ij}^0 - \Delta a_{ij}, a_{ij}^0 + \Delta a_{ij}];$$

$$R_i \in [R_i^0 - \Delta R_i, R_i^0 + \Delta R_i].$$

Значениям коэффициентов можно сопоставить нечеткие числа с треугольной функцией принадлежности $z = (z^0; \Delta z; \Delta z)$ [17]. Для нечетких чисел задаются правила сложения и умножения [17]:

$$z_1 \pm z_2 = (z_1^0 \pm z_2^0; \Delta z_1 + \Delta z_2; \Delta z_1 + \Delta z_2), \tag{7}$$

$$z_1 * z_2 =$$

$$= (z_1^0 * z_2^0; \Delta z_1 * z_2^0 + \Delta z_2 * z_1^0; \Delta z_1 * z_2^0 + \Delta z_2 * z_1^0)$$

Решение задачи достижения нечетко определенной цели основывается на подходе Беллмана-Заде [9]. Если альтернатива x позволяет достичь целей с уровнем $\varphi(x)$ и ограничения выполняются со степенью $\psi(x)$, то решением задачи достижения нечетко определенной цели является пересечение нечетких множеств цели и ограничений с функцией принадлежности:

$$\mu(x) = \min[\varphi(x), \psi(x)]. \tag{8}$$

В нашем случае под альтернативами понимаются возможные значения объемов услуг:

$$x_j \in [0; X_j^{max}].$$

(9)

Если провести нормировку целевой функции, то нормированную функцию можно рассматривать как функцию принадлежности нечеткого множества цели:

$$\varphi(x) = \frac{F(x)}{F(X^{max})}. \tag{10}$$

Значение функции $\varphi(x)$ определяет степень достижения цели при выборе альтернативы $x_j \in [0; X_j^{max}]$ [9].

В нечеткой задаче принимается возможность нарушения ограничений с некоторой степенью допустимости. Предположим, при некотором x получены значения ограничения $B_i = f_i(x)$, вычисленное по правилам (7), а также левая и правая границы $\Delta B, \Delta B$. Степень выполнения неравенства будет $\psi = 1$, если:

$$B_i + \Delta B \leq 0 \text{ и } \psi = 0,$$

если

$$B_i - \Delta B \geq 0$$

(рис. 10). Нечеткое множество ограничений определяется функцией принадлежности:

$$\psi(x) = \begin{cases} 0 & | B - \Delta B \geq 0 \\ 1 - \frac{(B + \Delta B)^2}{\Delta B(\Delta B + \Delta B)} & | B < 0 \\ \frac{(B + \Delta B)^2}{\Delta B(\Delta B + \Delta B)} & | B \geq 0 \\ 1 & | B + \Delta B \leq 0 \end{cases} \quad (11)$$

Степень выполнения ограничения для $B = (-1; 4; 3)$ равна $\psi = 0.71$.

В соответствии с принципом достижения нечетко определенной цели Беллмана-Заде оптимальное решение обеспечивается максимизацией выражения (8). В результате, целевая функция для задачи нечеткого программирования принимает вид:

$$\Phi(x) = \max_x \min[\varphi(x), \psi_i(x), i = \overline{1, m}], \quad (12)$$

где функции φ, ψ определяются выражениями (10, 11).

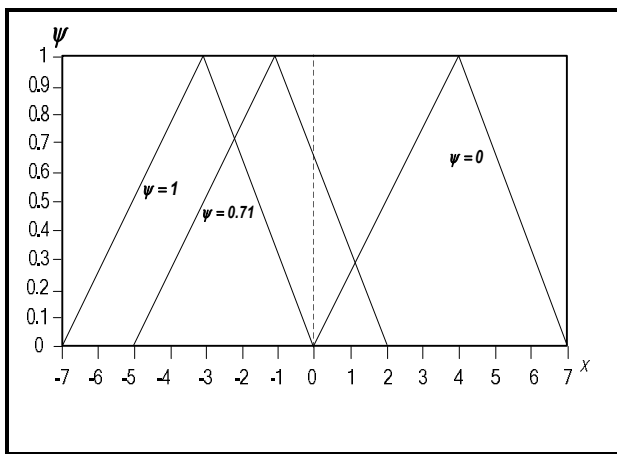


Рис. 10. Нечеткое выполнение ограничений

Для решения задачи (9-12) не существует каких-либо стандартных методов. Эта задача не является линейной и может не иметь непрерывных производных $\frac{\partial \Phi}{\partial x_j}$.

Применение методов прямого многомерного поиска типа Хука-Дживса также затруднено наличием многих локальных экстремумов целевой функции (12). Наиболее удобным является применение генетических алгоритмов (табл. 2-5).

Таблица 2

КОЭФФИЦИЕНТЫ С

c_j	Δc_j	Δc_j
9	1	1
5	1	1
7	1	1
8	1	1
4	1	1

Таблица 3

КОЭФФИЦИЕНТЫ А

2	3	1	2	1
1	2	2	1	2
2	1	2	3	1
3	2	3	2	2

Таблица 4

ИНТЕРВАЛЫ Δa_j

0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

Таблица 5

КОЭФФИЦИЕНТЫ R

R_i	ΔR_i	ΔR_i
200	10	1
300	5	1
100	20	1
150	10	1

Решение задачи линейного программирования вида (6) дает $x^0 = (50; 0; 0; 0; 0)$ с целевой функцией $F = 450$. Решение задачи нечеткого программирования дает $x^0 = (43.6; 9.9; 0.2; 6.3; 0.3)$ с $\Phi(x^0) = (493; 142; 142)$.

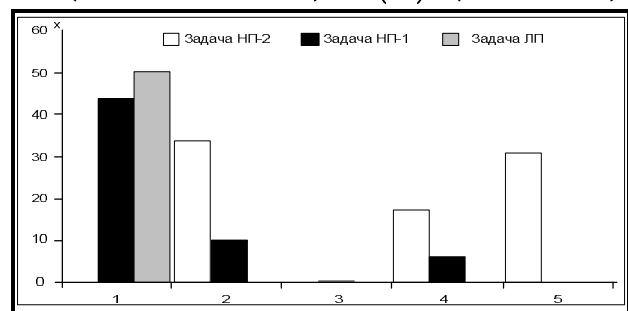


Рис. 11. Объемы услуг, полученные из решения задач ЛП и НП

На рис. 11 приведены значения найденных решений (задача ЛП и задача НП – единица). Для сравнения значений целевых функций нечеткие числа приводятся к четким с помощью центроидного метода [6]. Для треугольного вида функций принадлежности приведение нечеткого числа $z = (z^0; \Delta z; \Delta z)$ к четкому осуществляется следующим образом:

$$\hat{z} = z^0 - \Delta z + \sqrt{\frac{\Delta z(\Delta z + \Delta z)}{2}}$$

Выполнение неравенств приведено в табл. 6. Ограничения 3 и 4 выполняются со степенью достоверности 0,299.

Нестрогое выполнение ограничений 3 и 4 (степень достоверности 0,299) привело к тому, что целевая функция оказалась выше, чем для задачи линейного программирования. Основным риском аутсорсера является возможность неполного выполнения договоренности о цене за услуги. Этот риск определяется границами возможной цены Δc (табл. 6).

Таблица 6

ВЫПОЛНЕНИЕ ОГРАНИЧЕНИЙ

B_i	ψ_i	ΔB	ΔB
-72,826	1	38,49	29,49
-231,09	1	30,99	26,99
11,234	0,299	54,48	35,48
11,25	0,299	51,98	42,98

Согласно табл. 7, проекты 1 и 4, имеющие наибольшую стоимость, являются и наиболее рисковыми. Пятый же проект, наоборот, имеет возможность увеличить цену. Решением (задача НП-2) является $x^0 = (0; 33.8; 0; 17.5; 31.3)$ с $\Phi(x^0) = (445; 235; 290)$. Существенный риск для первого проекта привел к тому, что объем планируемых услуг для него оказался равным нулю. Проект 5 из-за его большей надежности получил свою долю услуг. Влияние данного типа риска в более чистом виде можно рассмотреть на примере, в котором нормы затрат ресурсов не зависят от номера проекта (табл. 8).

Таблица 8

КОЭФФИЦИЕНТЫ А

2	2	2	2	2
1	1	1	1	1
3	3	3	3	3
4	4	4	4	4

Задача линейного программирования дает решение $x^0 = (333; 0; 0; 0; 0)$ с целевой функцией $F = 300$. Решение задачи нечеткого программирования при коэффициентах C из табл. 2 приводит к похожему решению $x^0 = (41.6; 0; 0; 0; 0)$ с $\Phi(x^0) = (374; 124; 124)$. При введении рисков неоплаты в проекты 1 и 4 (см. табл. 7) получим $x^0 = (2.8; 0; 39.6; 0.3; 0)$ и $\Phi(x^0) = (297; 149; 125)$. Здесь наибольший приоритет получил проект 3 с достаточно высокой ценой и низкими рисками.

Рассмотрим нелинейный вариант задачи планирования объемов услуг по проектам. Если учесть, что себестоимость услуг снижается при увеличении объемов, а удельные затраты при этом снижаются, то получим:

$$\tilde{c}_j = c_j(1 + \alpha_c x_j) \text{ и } \tilde{a}_{ij} = a_{ij} \left(\frac{1}{1 + \beta_a x_j} \right).$$

В таком случае задача (6) переходит в задачу нелинейного программирования (НЛП) и требует соответствующих методов. Для решения задачи нечеткого программирования (9-12) подход не изменяется. Коэффициенты для расчетов соответствуют табл. 2 и 5 для задачи НЛП и НП-3 при $\alpha_c = \beta_a = 0.005$. Результаты приведены в табл. 9.

Таблица 9

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

-	x_1^0	x_2^0	x_3^0	x_4^0	x_5^0	F, Φ	$\Delta_1 \Phi$	$\Delta_2 \Phi$
НЛП	50	15,6	0	3,1	0	691,4	0	0
НП-3	50	16,2	0	5,8	0	697,6	162	162
НП-4	0	50	0,9	0,5	50	617,6	192	390

Решение задач НЛП и НП-3 оказались близкими между собой. Невыполнение третьего и четвертого ограничений дало возможность увеличить в задаче НП-3 целевую функцию. Вариант с большим риском для $j = 1$ и $j = 4$ и с возможностью увеличения дохода с $j = 5$ соответствует задаче НП-4. В этом варианте рисковые проекты не получают услуг. Основные объемы приходятся на проекты 2 и 5.

При наличии спектра услуг задачу планирования можно сформулировать следующим образом. Имеется $j = 1, \dots, n$ заказчиков с требуемыми объемами P_{kj} услуг k -го вида. Ресурсы аутсорсера $R_i, i = 1, m$ распре-

деляются между проектами и услугами с нормами затрат r_{ki} . При невыполнении заданного объема работ P_{kj} исполнитель платит штраф заказчику в размере $c_{kj} x_{kj}$ за каждую невыполненную услугу. Требуется составить план работ $x_{kj}, k = \overline{1, K}; j = \overline{1, n}$, обеспечивающий минимальный суммарный штраф. Математическая модель данного планирования принимает вид: целевая функция:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^n (P_{kj} - c_{kj} x_{kj}) \rightarrow \min$$

или

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^n c_{kj} x_{kj} \rightarrow \max \tag{13}$$

при ограничениях:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^n r_{ij} x_{kj} - R_i \leq 0, i = \overline{1, m}, \tag{14}$$

$$0 \leq x_{kj} \leq P_{kj}, k = \overline{1, K}; j = \overline{1, n},$$

При четких коэффициентах C, R имеем задачу линейного программирования, при нечетких – нечеткого программирования. Коэффициенты c_{kj} образуют табл. 10, а r_{ij} – табл. 11.

Требуемые объемы заказов находятся в табл. 12.

Таблица 10

КОЭФФИЦИЕНТЫ С

5	6	7
4	0	2
4	3	0

Таблица 11

КОЭФФИЦИЕНТЫ R

1	2	3
2	1	3
1	2	1

Таблица 12

ОБЪЕМ ЗАКАЗОВ P

1	3	4
2	0	1
3	5	0

Имеющиеся ресурсы $R = (20; 30; 40)$, Интервалы для нечетких коэффициентов: $\Delta c_{kj} = \Delta c_{kj} = 1; \Delta r_{ki} = \Delta r_{ki} = 0.1; k = \overline{1, K}; i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$; Решение для задачи линейного программирования дает:

$$x^0 = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 4 \\ 2 & 0 & 1 \\ 3 & 2.5 & 0 \end{pmatrix}, F^0 = 80.5,$$

Для нечеткой задачи

$$x^0 = \begin{pmatrix} 1.1 & 2.97 & 4.15 \\ 2.1 & 0 & 1.1 \\ 2.1 & 3.06 & 0 \end{pmatrix}, \Phi^0 = (80.6; 32; 32),$$

Изменение неопределенности изменяет результат решения не слишком сильно из-за необходимости выполнения заданных объемов заказов. Так, для коэффициентов с большей неопределенностью:

$$,c_{11} = 1; \Delta_r c_{11} = 5; \Delta_r c_{12} = 5; \Delta_r c_{12} = 1;$$

$$\Delta_r c_{13} = 7; \Delta_r c_{13} = 1; \Delta_r c_{31} = 1; \Delta_r c_{31} = 4,$$

получаем

$$x^0 = \begin{pmatrix} 1.15 & 3.15 & 4.15 \\ 2.15 & 0 & 1.15 \\ 3 & 2 & 0 \end{pmatrix}, \Phi^0 = (75.6; 73; 46),$$

Степени неопределенности коэффициентов, характеризующих функции принадлежности, задаются экспертами. При наличии каталога услуг с расценками и результатов выполнения конкретных проектов можно подобрать вид этих функций. Получение интервальных оценок по результатам решения задач нечеткого программирования предоставляет руководству фирмы-аутсорсера больше информации для оценки риска выполнения работ.

Для построения модели влияния информационных технологий на функционирование производственных предприятий предложено использовать принципы имитационного моделирования, основанного на аппарате нечеткой логики.

В результате проведенных исследований установлено, что окупаемость проекта по информатизации в случае применения аутсорсинга начинает реализовываться через три квартала после начала работ. Срок окупаемости собственных разработок составляет более двух лет. При рассмотренных параметрах производственных предприятий очевидно преимущество использования аутсорсинговых услуг по информатизации в течение рассматриваемого времени.

Определено, что прибыль от собственных разработок в долгосрочном периоде (более шести лет) выше, чем от аутсорсинговых услуг. Однако при собственных разработках также появляется возможность выбора оптимального перераспределения средств по связям с целью увеличения темпов прироста чистой продукции.

В статье приведено решение задачи максимизации планируемого дохода за счет выбора деятельности, причём выбор деятельности осуществляется при существующих ограничениях на используемые ресурсы нескольких видов. Степени неопределенности коэффициентов, характеризующих функциями принадлежности, задаются экспертами. При наличии каталога услуг с расценками и результатов выполнения конкретных проектов можно подобрать вид этих функций. Получение интервальных оценок по результатам решения задач нечеткого программирования предоставляет руководству фирмы-аутсорсера больше информации для оценки риска выполнения работ.

Литература

1. Аксенов И. Аутсорсинг: 10 заповедей и 21 инструмент [Текст] / И. Аксенов, И. Альтшулер. – СПб. : Питер, 2008. – 464 с.
2. Альбрехт Э.Г. Методика построения и идентификации математических моделей макроэкономических процессов [Электронный ресурс] / Э.Г. Альбрехт // Исследовано в России. – 2002. – №5. – С. 54-86.
3. Аникин Б.А. Аутсорсинг: создание высокоэффективных и конкурентоспособных организаций [Текст] / Б.А. Аникин. – М. : ИНФРА-М, 2003. – 186 с.
4. Ашманов С.А. Математические методы и модели в экономике [Текст] / С.А. Ашманов. – М. : Изд-во МГУ, 1980. – 269 с.
5. Баканов М.И. и др. Теория экономического анализа [Текст] : учеб. / М.И. Баканов, М.В. Мельник, А.Д. Шеремет. – М. : Финансы и статистика, 2007. – 536 с.
6. Бенткус Р. Об экспоненциальных оценках распределения случайных величин [Текст] / Р. Бенткус, Р. Рудзикис // Литовский математический сб. – 1980. – Т. 20 ; № 1. – С. 15-30.
7. Вильсон А. Дж. Энтропийные методы моделирования сложных систем [Текст] / А. Дж. Вильсон. – М. : Наука, 1978. – 248 с.

8. Горохов М.Ю. Бизнес-планирование и инвестиционный анализ [Текст] / М.Ю. Горохов, В.В. Малеев. – М. : Филит, 1998. – 208 с.
9. Зайченко Ю.П. Исследование операций [Текст] / Ю.П. Зайченко. – Киев : Выща школа, 1988. – 552 с.
10. Краснощекоев П.С. Принципы построения моделей [Текст] / П.С. Краснощекоев, А.А. Петров. – М. : Изд-во МГУ, 1983. – 264 с.
11. Ляховецкий Л.З. Эффективность вариантов вложения средств в предприятия электросвязи [Текст] / Л.З. Ляховецкий // Электросвязь. – 2004. – №8.
12. Михайлов Д.М. Аутсорсинг: новая система организации бизнеса [Текст] / Д.М. Михайлов. – М. : КНОРУС, 2008. – 255 с.
13. Новак В. и др. Математические принципы нечеткой логики [Текст] / В. Новак, И. Перфильева, И. Мочкорж. – М. : Физматлит, 2006. – 352 с.
14. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации [Текст] / С.А. Орловский. – М. : Наука, 1981. – 208 с.
15. Фиронов А. Нечеткая логика в анализе корпоративных клиентов [Текст] / А. Фиронов, Е. Люшина // Банковские технологии. – 2003. – №5. – С. 23-31.
16. Хейвуд Дж. Б. Аутсорсинг. В поисках конкурентных преимуществ [Текст] / Дж. Б. Хейвуд. – М. : Вильямс, 2002. – 176 с.
17. Хургин Я.И. Проблемы неопределенности в задачах нефти и газа [Текст] / Я.И. Хургин. – М. ; Ижевск : Ин-т компьютерных исследований, 2004. – 320 с.
18. Chorafas B.N. Outsourcing, insourcing and IT for enterprise management. 2004.
19. Brudenall P. Technology and offshore outsourcing strategies. 2005.
20. Burnett R. Outsourcing It – the legal aspects. 2006.
21. Mylott I, Thomas R. Computer outsourcing: managing the transfer of information systems. 2005.
22. Vogel R., Simon A. The COT planning guide: tips, tactics and strategies for successful IC outsourcing. 2004.
23. Willcocks L., Lacity M.C. Global information technology outsourcing: in search of business advantage. 2006.
24. Williams O. Outsourcing: a CIO's Perspective. 2005.

Ключевые слова

Аутсорсинг; риск; нечеткая логика; причинно-следственные связи; оптимизация; нечеткое программирование,

Макаров Юрий Николаевич

РЕЦЕНЗИЯ

Об услугах аутсорсинга на предприятии задумываются, когда возникает проблема включения в бизнес-процесс действий, не связанных напрямую с его профильной специализацией. Привлечение более квалифицированных специалистов, оборудования и иных ресурсов, обеспечивающих выполнение определенных работ на более высоком уровне, чем собственный, и составляет содержание аутсорсинга. Широкое распространение получило привлечение внешних ресурсов для оказания услуг в сфере информационных технологий вместо собственных служб информатизации (ИТ-аутсорсинг). Для принятия решения о привлечении аутсорсера для оказания услуг необходимо сравнить стоимость своего подразделения и внешнего поставщика.

В статье разработана экономико-математическая модель производства, обеспечивающая оптимальное развитие корпорации за счет применения аутсорсинга. Для оценки влияния аутсорсинга на функционирование производственных предприятий предложено использовать принципы имитационного моделирования, основанного на аппарате нечеткой логики. Кроме того, приведено решение задачи максимизации планируемого дохода за счет выбора деятельности, причём выбор деятельности осуществляется при существующих ограничениях на используемые ресурсы нескольких видов.

В статье сделан ряд допущений о виде некоторых функций, что может не соответствовать действительности в те или иные промежутки времени. Однако данные допущения являются общепользуемыми в практике экономического моделирования и в целом весьма приемлемы. В целом, работа серьезная, тема, затронутая авторами, является весьма актуальной, работа может быть рекомендована к публикации.

Лялин В.Е., д.т.н, д.э.н, зав. кафедрой «Интеллектуальные информационные технологии в экономике» Ижевского государственного технического университета (ИжГТУ), заслуженный изобретатель РФ

10.5. OPTIMAL CONTROL MODEL OF MANUFACTURE WITH OUTSOURCING

Y.N. Makarov, Ph.D. Chief of Union Management of Organization of Space Activities Roscosmos

The scientifically-proved model of manufacture providing optimum development of corporation at the expense of use of outsourcing is offered. For an estimation of influence of outsourcing on functioning of manufacturing enterprises it is offered to use principles of the imitating modeling based on the device of the indistinct logic.

Literature

1. E.G. Albrecht. Technique of construction and identifications of mathematical models of macroeconomic processes // Electronic magazine «Investigated in Russia». 2002. – №5. – P. 54-86.
2. B.A. Anikin. Outsourcing: creation of the highly effective and competitive organizations. «Infra-M». 2003. 186pp.
3. S.A. Ashmanov. Mathematical methods and models in economy. – M: MSU. 1980. – 269 p.
4. M.I. Bakanov. The theory of the economic analysis: the textbook / M.I. Bakanov. M.V. Melnik. A.D. Sheremet. – M: Finance and statistics. 2007. – 536 p.
5. P. Bentkus. R. Rudzikis. Exponential estimations of random variables distribution. – Lithuanian mathematical collection. – Vilnius: Vol. 20. №1. 1980. – P. 15-30.
6. V. Novak. I. Perfilyev. Mochkorzh I. Mathematical principles of indistinct logic. – FIZMATLIT. 2006. 352 p.
7. A.J. Wilson. Entropy methods of modeling of complex systems. – M.: Science. 1978. – 248 p.
8. A. Fironov. E. Ljushina. The fuzzy logic in the analysis of corporate clients // Bank technologies. – 2003. – №5. – 23-31 p.
9. M.Y. Gorohov. V.V. Malev. Business-planning and investment analysis. – M.: Filin. 1998. – 208 p.
10. J.B. Heywood The Outsourcing Dilemma: The Search for Competitiveness. – Williams. 2002. 224 p.
11. E. Aksenov. I. Altshuler. Outsourcing. 10 precepts and 21 tool. Publishing house: Peter. 2008. 464 p.
12. U.P. Zaychenko. Operational research. K: Vyscha Shkola. 1988. – 552 p.
13. P.S. Krasnoshchekov. A.A. Petrov. Principle of construction of models. – M: Moscow State University Publishing house. 1983. – 264 p.
14. L.Z. Lyahovetsky. Efficiency variants of an investment in telecommunication enterprises. – Electrosvyaz. – №8.- 2004.
15. D.M. Mikhailov. Outsourcing: new system of the organization of business. Publishing house: «KnoRus». 2008. 255 p.
16. S.A. Orlovsky. Problem of decision-making at the indistinct initial information. Publishing house: the Science. 1981. 208 p.
17. Y.I. Hurghin. Problem of uncertainty of oil and gas problems. Moscow-Izhevsk: Institute of computer researches. 2004.-320 p.
18. N. Dimitris. Chorafas. Outsourcing. Insourcing and IT for Enterprise Management. 2004.
19. L. Willcocks. M.C. Lacity. Global Information Technology Outsourcing: In Search of Business Advantage. 2006.
20. I. Mylott. R. Thomas. Computer Outsourcing: Managing the Transfer of Information Systems. 2005.
21. O. Williams. Outsourcing: A CIO's Perspective. 2005.
22. P. Brudenall. Technology and Offshore Outsourcing Strategies. 2005.
23. R. Burnett. Outsourcing It-The Legal Aspects. 2006.
24. R. Vogel. A. Simon. The COT Planning Guide: Tips. Tactics and Strategies for Successful IC Outsourcing. 2004.

Keywords

Outsourcing; risk; fuzzy logic; cause-and-effect relations; optimization; fuzzy programming.